

東京都下水道局 曾根啓一, 佐久間真理子
 日立プラント建設(株) ○大坪徹也, 江森弘祥
 荏原製作所(株) 沢井賢司
 (株) タクマ 奥田正彦, 馬場淳一

1. はじめに

近年閉鎖性水域では富栄養化防止のため、窒素・りんに対する排水規制が導入され、その除去が求められている。下水からの生物学的窒素・りん除去法として、嫌気－無酸素－好気法が導入されているが、さらに省スペース化(滞留時間 12h 以内)、窒素・りん除去効率化をはかるため、平成 10~12 年度にかけて 2 段階ステップ流入式A₂O法(以下、本法という)の開発を行なった。図-1 に本法のフローを示す。

本稿では、2 段階ステップ流入式A₂O法の実用化に関する設計手法の検討について報告する。

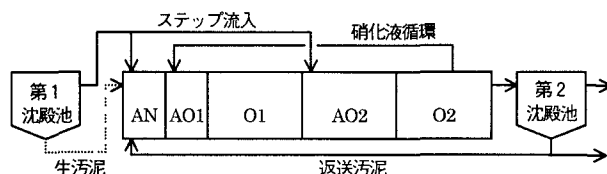


図-1 2段階ステップ流入式A₂O法フロー

2. 検討方法

2. 1 パイロットプラント

設計手法の検討に必要な各係数を求めるため、東京都芝浦処理場にパイロットプラントを設置し、実験を行なった。パイロットプラントの仕様を表-1 に示す。パイロットプラントの規模は 24m³/d × 3 系列であり、うち第 1, 第 2 系列が 2 段階ステップ流入式A₂O法系列, 第 3 系列は対照系として従来のA₂O法系列とした。

表-1 パイロットプラント仕様

系 列	第 1・第 2 系列	第 3 系列
プロセス	ステップA ₂ O法	A ₂ O法
第一沈殿池	φ1,750×H2,000×1 基	
反応タンク 嫌気タンク	1.0m ³	1.0m ³
(第 1) 無酸素タンク	1.0m ³	4.0m ³
(第 1) 好気タンク	3.0m ³	7.0m ³
第 2 無酸素タンク	3.5m ³	—
第 2 好気タンク	3.5m ³	—
合 計	12.0m ³	12.0m ³
第二沈殿池	φ1,750×H2,000×3 基	

2. 2 硝化性能試験

高度処理施設マニュアル(案)に示されている硝化に必要な A-SRT(硝化率 80%以上)と、パイロットプラントの運転 A-SRT との関係と硝化率について検討を行なった。定量負荷運転及び 50~135%の負荷変動運転を行なった場合について検討を行なった。

2. 3 脱窒性能試験

実験期間の各運転条件において、流入水、返送汚泥ならびに各槽 MLSS 混合液ろ液を実滞留時間ごとに採水し、各無酸素槽での MLSS 濃度、及び NO₃-N の収支から脱窒速度定数を求めた。また、限界脱窒速度定数を求めるため、無酸素槽で NO₃-N が残存するように反応槽末端に硝酸ナトリウムを測定の前から連続的に投入した。また、無酸素槽 MLSS 混合液を 24 時間空曝気した後、硝酸ナトリウムを添加しその減少濃度から脱窒速度を求め、内生脱窒速度とした。

3. 実験結果と考察

図-2 に示す本法の基本設計フローに従い容量計算を行なう事とする。

3. 1 硝化に必要な A-SRT に関する検討

(1) 硝化に必要な A-SRT に関する検討

「高度処理施設設計マニュアル(案)」において、水温から下記の式(1)を用いて算出される A-SRT を

保って運転管理を行なえば、80%以上の硝化率を得ることが出来るとされている。

$$\theta_{XA} = \delta \times 20.6 \times \exp(-0.0627 \times T) \text{ ----- (1)}$$

ここに θ_{XA} : 必要 A-SRT (日)

δ : 負荷変動を見込んだ安全率 (1.2~1.5)

T : 水温 (°C)

(1) 式を用いて算出される必要 A-SRT と、パイロットプラント運転における実際の運転 A-SRT の比と、硝化性能の関係について検討を行なった。

1) 定量負荷運転

図-3 に定量負荷運転における運転 A-SRT と必要 A-SRT の比と硝化率との関係を示す。式(1)から算出される A-SRT を保持して運転を行なうことにより、95%以上の硝化率を得られることが確認できた。

2) 負荷変動運転

図-4 に負荷変動比を 50~135%として運転を行った場合の負荷変動における安全率 δ と硝化率の関係を示す。負荷変動運転に際しては、最大変動比に応じた安全率を見込むことで 95%以上と、ほぼ完全硝化となることが認められた。

したがって硝化槽容量は、式(1)に最大負荷変動比に応じた値から求めた A-SRT から算出し、この A-SRT を管理目標とすることにより安定した硝化性能が得られるものと判断できる。

3. 2 無酸素槽容量に関する検討

(1) A-BOD-SS 負荷による脱窒速度定数算出

法

従来の脱窒速度定数算出方法として、「高度処理施設設計マニュアル(案)」における無酸素槽算出方法が挙げられる。

この方法では、(無酸素槽+好気槽)の MLSS に対する BOD-SS 負荷(以下、TBOD-SS 負荷)から全槽容量を求め、好気槽分を差し引いて無酸素槽容量を設定する。その後、無酸素槽容量のチェックのために、脱窒速度定数を TBOD-SS 負荷を用いて下記の式(2)で計算している。

$$K_{DN} = 7.7 \times L_{BODSS} + 0.6 \quad (\text{水温 } 8.0 \sim 16.6^{\circ}\text{C} \text{ の場合}) \text{ ----- (2)}$$

ここに L_{BODSS} : TBOD-SS 負荷 (kg-BOD/kg-SS・d)

この方法における脱窒速度定数は、求められた無酸素槽容量と硝酸負荷から算出されるものと、(2) 式から算出されるものの二つとなる。したがって、脱窒速度定数が一意的に定まらず、TBOD-SS 負荷の設定に負う所が大きい事、また (2) 式において水温による適正な補正係数が検討されていないという問題点があった。

そこで、本法の容量計算では、脱窒速度定数から無酸素槽容量を直接求める事とし、脱窒速度定数は好気槽 MLSS に対する BOD-SS 負荷(以下 A-BOD-SS 負荷)から算出することとした。この算出方法によれば、硝化に必要な A-SRT を用いて好気槽容量が決定されれば、図-2 の設計フローに示すとおり脱窒速度定数を一意的に定める事ができる。

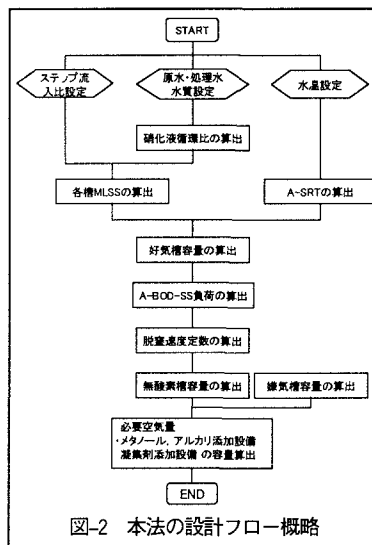


図-2 本法の設計フロー概略

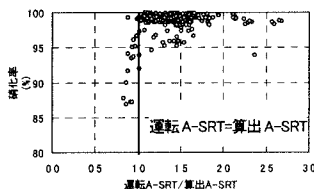


図-3 A-SRT と硝化率
(定量負荷運転)

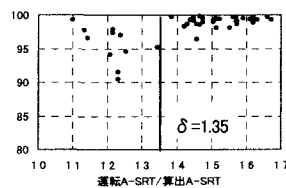


図-4 A-SRT と硝化率
(負荷変動運転)

以下に解析に用いた式を挙げる。

$$K_{DN} = \alpha \cdot \exp(\beta T) \times L_{ABODSS} + \gamma \quad \text{----- (3)}$$

ここに K_{DN} : 脱窒速度定数 ($\text{mg}\cdot\text{N}/\text{g}\cdot\text{SS}\cdot\text{h}$)

L_{ABODSS} : A-BOD-SS 負荷 ($\text{kg}\cdot\text{BOD}/\text{kg}\cdot\text{SS}\cdot\text{d}$)

α, β, γ : 係数

(2) 検討結果

図-5にパイロットプラント実験におけるA-BOD-SS負荷と各槽の限界脱窒速度定数の関係を示す。

これより、A-BOD-SS 負荷が $0.12\sim 0.30\text{kgBOD}/\text{kg}\cdot\text{SS}\cdot\text{d}$ の範囲内において、A-BOD-SS 負荷と脱窒速度定数に、正の相関がある事が認められた。また、A-BOD-SS 負荷が同一ならば、水温が低下するに従い、脱窒速度定数が低下する事が認められた。

この結果を元に、(3) 式における各係数の解析を行なった。

(a) 回分試験による内生脱窒速度(水温=15℃)は $0.2\text{mgN}/\text{g}\cdot\text{SS}\cdot\text{h}$ であった。(2) 式も勘案し、 $\gamma = 0.2\sim 0.6$ と設定した。

(b) 第2 無酸素槽は原水が直接無酸素槽に流入するのに対し、第1 無酸素槽・ A_2O 法無酸素槽は、嫌気槽で流入 BOD が消費された結果、第1 無酸素槽、 A_2O 法無酸素槽では A-BOD-SS 負荷が同一でも、脱窒速度定数が低下すると考えられる。そのため、第2 無酸素槽と第1 無酸素槽・ A_2O 法無酸素槽の脱窒速度定数は分けて解析を行った。

以上より、 $\gamma = 0.6$ とした場合の解析結果を図-6に示す。式(3)における $\alpha \cdot \exp(\beta T)$ は、水温15℃の場合、第2 無酸素槽において5.2、第1 無酸素槽において4.6 という値が得られ、前段に嫌気槽のない第2 無酸素槽では、同じ A-BOD-SS 負荷に対して脱窒速度が10%程度向上することが認められた。

係数 α, β の解析に必要な係数 γ については、今後さらに検討を加えて決定したいと考えている。

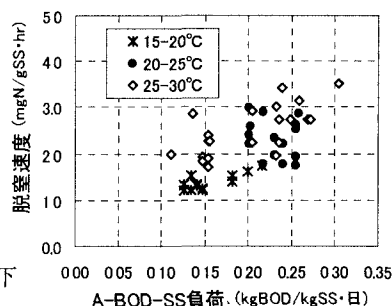


図-5 A-BOD-SS 負荷と限界脱窒速度定数

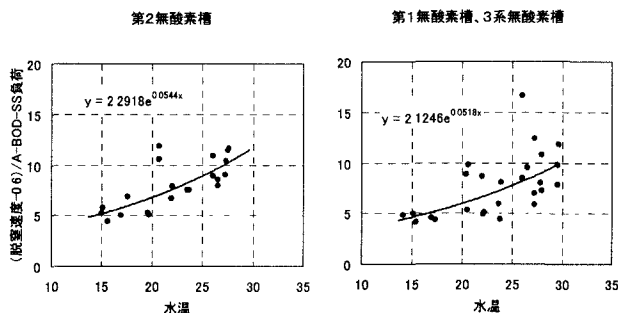


図-6 脱窒速度定数解析結果
($\gamma = 0.6$ の場合)

4. まとめ

2段ステップ流入式 A_2O 法の設計手法について検討を行い、下記の結果を得た。

- (1) 好気槽容量の算出に用いる A-SRT 算出方法について、高度処理施設設計マニュアル(案)に記載されている式における最大負荷変動比に相当する安全率を見込む事で、ほぼ完全硝化となることを確認した。
- (2) 好気槽 MLSS に対する BOD-SS 負荷から無酸素槽容量を算出する方法を用いて、好気槽容量から無酸素槽容量を一意的に求める方法を構築した。
- (3) パイロットプラントを用いて限界脱窒速度試験を行い、脱窒速度定数算出式に関する検討を行なった。

なお、本研究は、東京都下水道局および㈱クボタ、日本ガイシ㈱、㈱荏原製作所、㈱タクマ、日立プラント建設㈱による共同研究として実施したものである。

参考文献： 1) (社)日本下水道協会「高度処理施設設計マニュアル(案)」(平成6年)

2) 「2段ステップ流入式 A_2O 法の開発」 木下ら 第38回環境工学フォーラム講演集